

5

---

BEHR GmbH & Co. KG  
Mauserstraße 3, 70469 Stuttgart

---

10

**Strömungskanal für einen Wärmeübertrager und Wärmeübertrager mit  
derartigen Strömungskanälen**

15

Die Erfindung betrifft einen von einem Medium in einer Strömungsrichtung durchströmbar Strömungskanal eines Wärmeübertragers nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1. Darüber hinaus betrifft die Erfindung einen Wärmeübertrager mit Strömungskanälen nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 40.

20

25

30

Strömungskanäle für Wärmeübertrager werden von einem ersten Medium, z. B. einem Abgas oder einem flüssigen Kühlmittel durchströmt und grenzen dieses erste Medium gegenüber einem zweiten Medium, auf welches die Wärme des ersten Mediums übertragen werden soll, ab. Derartige Strömungskanäle können Rohre mit rundem Querschnitt, Rechteckrohre, Flachrohre oder auch Scheibenpaare sein, bei welchen zwei Platten oder Scheiben randseitig verbunden sind. Meistens sind die Medien, die miteinander in Wärmeaustausch stehen, verschieden, z. B. strömt in den Rohren ein heißes, mit Rußpartikeln beladenes Abgas, und auf der Außenseite werden die Abgasrohre von einem flüssigen Kühlmittel umströmt, was unterschiedliche Wärmeübertragungsverhältnisse auf der Innen- und der Außenseite der Rohre zur Folge hat. Man hat daher, insbesondere für Abgasrohre vorgeschlagen, auf deren Innenseite V-förmig und diffusorartig angeordnete Tur-

- 2 -

bulenzerzeuger anzuordnen, die für eine Verwirbelung der Strömung und eine Verbesserung des Wärmeüberganges auf der Abgasseite sorgen sowie gleichzeitig eine Rußabiagerung verhindern. Derartige Lösungen für Abgaswärmeübertrager gehen aus folgenden Druckschriften der Anmelderin hervor: EP-A 677 715, DE-A 195 40 683, DE-A 196 54 367 und DE-A 196 54 368. Diese bekannten Abgaswärmeübertrager weisen Rechteckrohre aus Edelstahl auf, die aus zwei miteinander verschweißten Halbschalen zusammengesetzt sind, in welche die Turbulenzerzeuger, so genannte winglets eingeformt bzw. eingeprägt und hintereinander angeordnet sind. Die winglet-Paare der beiden Halbschalen sind entweder in Längsrichtung der Rohre, d. h. in Strömungsrichtung gegeneinander versetzt (DE 196 54 367, DE 196 54 368) oder einander gegenüber liegend (DE 195 40 683) angeordnet.

In der DE-A 101 27 084 der Anmelderin wurde ein Wärmeübertrager, insbesondere ein Kühlmittel/Luftkühler mit Flachrohren und Wellrippen vorgeschlagen, bei welchen die flachen Seiten der Flachrohre eine aus Strukturelementen bestehende Struktur aufweisen. Die Strukturelemente sind länglich ausgebildet, V-förmig in Reihen quer zur Kühlmittelströmungsrichtung bzw. quer zur Längsachse der Rohre angeordnet und fungieren als Wirbelerzeuger, um den Wärmeübergang auf der Kühlmittelseite zu erhöhen. Die Wirbelerzeuger sind in beide sich gegenüber liegenden Rohrwände eingeprägt und ragen nach innen in die Kühlmittelströmung. Die Reihen von Wirbelerzeugern auf einer Flachrohrseite sind in Strömungsrichtung versetzt gegenüber den Reihen auf der anderen Flachrohrseite. Damit ist es auch möglich, die nach innen ragende Höhe der Wirbelerzeuger größer als die halbe lichte Weite des Flachrohrquerschnittes zu bemessen.

Durch die EP-A 1 061 319 wurde ein Flachrohr für einen Kraftfahrzeugkühler bekannt, welches auf seinen flachen Seiten eine Struktur aufweist, die aus einzelnen länglichen, in Reihen angeordneten Strukturelementen besteht. Dabei sind in Strömungsrichtung Reihen mit unterschiedlich ausgerichteten

- 3 -

Strukturelementen angeordnet, sodass die Strömung im Inneren des Flachrohres etwa zick-zack-förmig umgelenkt wird. Insbesondere sind jedoch die Reihen mit Strukturelementen auf einer Flachrohrseite in Strömungsrichtung versetzt gegenüber den Reihen der gegenüberliegenden Flachrohrseite angeordnet. Einer Reihe von Strukturelementen liegt also jeweils ein glatter Bereich der Flachrohrinnenwand gegenüber. Die Strömung innerhalb des Kühlmittelrohres wird somit abwechselnd von den Strukturelementen der einen und der anderen Flachrohrseite, nicht jedoch gleichzeitig beeinflusst. Damit soll unter anderem eine Verstopfung der Rohre vermieden werden. Hinsichtlich der Wärmeübertragungsfähigkeit ergeben sich hier noch Potenziale.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Strömungskanal sowie einen Wärmeübertrager der eingangs genannten Art hinsichtlich seiner Wärmeübertragungsfähigkeit zu verbessern, insbesondere Turbulenz- und Wirbelbildung zu erhöhen, wobei der Druckverlust in einem noch vertretbaren Maß ansteigen soll.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patenanspruches 1 gelöst. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass sich die insbesondere in Reihen angeordneten Strukturelemente auf der einen und der anderen Seite des Strömungskanals im wesentlichen gegenüber liegen, also in Strömungsrichtung gesehen, jeweils etwa auf gleicher Höhe angeordnet sind. Die sich gegenüberliegenden Strukturelemente beziehungsweise Reihen können auch in Strömungsrichtung gegeneinander versetzt sein, allerdings nur soweit, dass noch eine Überlappung besteht. Damit greifen gleichzeitig von der einen und der anderen Wärmeübertragerfläche abragende, in den Strömungskanal hineinragende Strukturelemente in die Strömung ein und bewirken eine Verwirbelung der Strömung, die eine Verbesserung der Wärmeübertragung auf der Innenseite des Strömungskanals zur Folge hat. Darüber hinaus wird – beispielsweise im Falle einer Abgasströmung – unter Umständen eine Ruß-

- 4 -

ablagerung verhindert. Der Druckverlust hält sich dabei in vertretbaren Grenzen. Die Strömung innerhalb des Strömungskanals wird somit von beiden Seiten gleichzeitig gestört, d. h. beide Grenzschichten werden gleichzeitig abgelöst, was zu einer besonders starken Verwirbelung führt. Die sich gegenüberliegenden Strukturelemente beziehungsweise Reihen aus Strukturelementen können sich ebenfalls auf der Außenseite des Strömungskanals – im Falle eines Abgaskühlers auf der Kühlmittelseite – befinden. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

10 Eine Reihe mit Strukturelementen wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung von einem oder mehreren Strukturelementen gebildet, die in Strömungsrichtung P im wesentlichen nebeneinander angeordnet sind. Insbesondere kann eine Reihe also auch durch ein einzelnes Strukturelement gebildet sein, neben dem beispielsweise keine weiteren Strukturelemente angeordnet sind.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sehen verschiedene Ausführungsformen der Strukturelemente vor, wobei diese geradlinig oder gekrümmt ausgebildet sein können, d. h. mit einem konstanten oder variablen Abströmwinkel zur Strömungsrichtung. Durch die Änderung des Abströmwinkels von einem relativ großen Anströmwinkel bis zum Abströmwinkel ergibt sich eine „sanfte“ Umlenkung der Strömung und damit ein etwas reduzierter Druckverlust. Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können die Strukturelemente innerhalb einer Reihe versetzt angeordnet sein, d. h. die Strukturelemente sind zwar in einer quer zur Strömungsrichtung verlaufenden Reihe angeordnet, jedoch in Strömungsrichtung gestaffelt angeordnet. Auch dadurch ergibt sich der Vorteil eines geringeren Druckverlustes. Darüber hinaus können sich gegenüberliegende Reihen, also der einen oder anderen Flachrohrseite, in Strömungsrichtung gegeneinander versetzt angeordnet sein, wobei jedoch immer eine Überlappung zwischen beiden Reihen erhalten bleibt. Auch durch diese Versetzung in Strömungsrichtung

- 5 -

5 mungsrichtung ergibt sich ein geringerer Druckverlust. Berühren sich die gegenüberliegenden Strukturen und werden diese durch Schweißen oder Löten verbunden, so kann die Festigkeit gesteigert werden. Nach einer weiteren Variante sind die Strukturelemente nicht in gleichmäßigen Abständen in einer Reihe angeordnet, vielmehr weisen diese Reihen Lücken auf, denen jeweils auf der gegenüberliegenden Seite Strukturelemente gegenüber liegen und diese Lücken somit – in der Draufsicht – „ausfüllen“. Auch dadurch wird der Vorteil eines geringeren Druckverlustes erreicht.

10 Zwischen oder neben den Strukturelementen beziehungsweise zwischen oder innerhalb der „Strukturreihen“ (Reihen mit Strukturelementen) können (in Strömungsrichtung P gesehen) auch Noppen und/oder Stege nach außen oder innen ausgeprägt werden, um eine „Abstützung“ und damit eine Festigkeitssteigerung zu erreichen. Die Wirbel erzeugenden Strukturen können  
15 diese Funktion ebenfalls ganz oder teilweise übernehmen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform sind die sich im wesentlichen gegenüberliegenden Wärmeübertragungsflächen und insbesondere die darauf angeordneten Strukturelemente gekrümmt. Insbesondere bei Rohren mit  
20 kreisrundem oder ovalem Querschnitt werden die erfindungsgemäßen Vorteile erreicht.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform sind die sich im wesentlichen gegenüberliegenden Wärmeübertragungsflächen wärmetechnische Primärflächen. Gemäß einer Variante sind die Wärmeübertragungsflächen dagegen wärmetechnische Sekundärflächen, die insbesondere durch vorzugsweise mit dem Strömungskanal verlötete, verschweißte oder verklemmte  
25 Rippen, Stege oder dergleichen gebildet sind.

- 6 -

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform liegt die Höhe  $h$  der Strukturelemente im Bereich von 2 mm bis 10 mm, insbesondere im Bereich von 3 mm bis 4 mm, vorzugsweise um 3,7 mm.

- 5      Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist der Strömungskanal rechteckig und weist eine Breite  $b$  auf, die insbesondere im Bereich von 5 mm bis 120 mm, vorzugsweise im Bereich von 10 mm bis 50 mm liegt.

- 10      Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform liegt ein hydraulischer Durchmesser des Strömungskanals im Bereich von 3 mm bis 26 mm, insbesondere im Bereich von 3 mm bis 10 mm.

- 15      Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform umfaßt zumindest eine, insbesondere jede Strukturelementreihe jeweils mehrere Strukturelemente.

- 20      Die Aufgabe der Erfindung wird auch gelöst durch die Merkmale des Patentanspruches 40. Dabei sind erfindungsgemäß die vorgenannten Strömungskanäle als Flach-, Rund-, Oval- oder Rechteckrohre eines Wärmeübertragers, vorteilhafterweise eines Abgaswärmeübertragers vorgesehen. Die erfindungsgemäße Anordnung der Strukturelemente, d. h. vorteilhafterweise ihre Einprägung in die Rohrrinnenwände bringt eine Leistungssteigerung des Wärmeübertragers mit sich. Besonders vorteilhaft sind die in Reihen angeordneten Strukturelemente für Abgaswärmeübertrager, weil hierbei auch eine Rußablagerung im Inneren der Flachrohre vermieden wird. Die Abgasroh-
- 25      re werden auf ihrer Außenseite von einem Kühlmittel umströmt, welches dem Kühlmittelkreislauf der die Abgase ausstoßende Brennkraftmaschine entnommen wird. Es ist ebenfalls möglich, dass die Strukturen auch in Platten oder Scheiben eingeprägt werden, um aus ihnen Wärmetauscher herzustellen.

30

- 7 -

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben. Es zeigen

- |    |                   |   |
|----|-------------------|---|
|    | Fig. 1            | einen Strömungskanal gemäß Stand der Technik,     |
| 5  | Fig. 2a, b, c     | einen Querschnitt von Strömungskanälen,           |
|    | Fig. 3            | ein Flachrohr mit erfindungsgemäßer Struktur,     |
|    | Fig. 4            | eine Halbschale des Flachrohres gemäß Fig. 3,     |
|    | Fig. 5a, b, c, d  | verschiedene Strukturelemente,                    |
|    | Fig. 6a, b, c, d, |   |
| 10 | e, f, g, h        | erfindungsgemäße Strukturen auf Strömungskanälen, |
|    | Fig. 7a, b        | weitere erfindungsgemäße Strukturen,              |
|    | Fig. 8            | eine weitere erfindungsgemäße Struktur,           |
|    | Fig. 9a, b, c, d  | gespiegelte Strukturelemente,                     |
|    | Fig. 10a, b, c, d | parallel verschobene Strukturelemente,            |
| 15 | Fig. 11a, b, c, d | Reihen von Strukturelementen mit Abwandlungen und |
|    | Fig. 12a, b       | weitere Strukturelemente.                         |

Fig. 1 zeigt in vereinfachter Darstellung einen Strömungskanal 1, welcher als Rechteckrohr ausgebildet ist, einen rechteckförmigen Eintrittsquerschnitt 2, zwei sich gegenüberliegende flache Seiten F1, F2 sowie zwei sich gegenüberliegende Schmalseiten S1, S2 aufweist. Der Kanal 1 wird von einem Strömungsmedium, z. B. einem Abgas in Richtung des Pfeils P durchströmt. Auf der unteren Flachseite F2 sind V-förmig ausgerichtete Wirbelerzeuger 3a, 3b, 4a, 4b angeordnet, welche durch Erzeugung von Wirbeln eine erhöhte Turbulenz der Strömung bewirken und gleichzeitig – bei einer Abgasströmung – eine Rußablagerung verhindern. Diese Darstellung entspricht dem eingangs genannten Stand der Technik. Danach werden die jeweils paarweise angeordneten V-förmig ausgestellten, sich in Strömungsrichtung diffusorartig erweiternden Wirbelerzeuger 3a, 3b bzw. 4a, 4b auch als so genannte winglets bezeichnet.

- 8 -

Fig. 2a zeigt den Querschnitt eines als Flachrohr ausgebildeten Strömungskanals 1, bei welchem sowohl an der oberen Flachseite F1 als auch an der unter Flachseite F2 Winglet-Paare 5a, 5b sowie 6a, 6b angeordnet sind. Der Kanalquerschnitt weist eine Kanalhöhe H und eine Kanalbreite b auf. Die Winglets 5a, 5b, 6a, 6b weisen eine in den Kanalquerschnitt ragende Höhe h auf. Auch diese Anordnung von Winglets entspricht dem eingangs genannten Stand der Technik. Die Bezeichnungen F1, F2 gelten auch für die nachfolgenden erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiele.

Fig. 2b zeigt den Querschnitt eines als Rundrohr ausgebildeten Strömungskanals 1', bei welchem sowohl an der oberen Flachseite F1 als auch an der unteren Flachseite F2 Strukturelemente 13' beziehungsweise 13 angeordnet sind. Der Kanalquerschnitt weist eine Kanalhöhe H auf.

Fig. 2c zeigt den Querschnitt eines als Flachrohr ausgebildeten Strömungskanals 1, bei welchem die Wärmeübertragungsflächen F1, F2 wärmetechnisch Sekundärflächen darstellen, da sie nicht unmittelbar Wärme von dem einen auf das andere Medium übertragen. Die Wärmeübertragungsflächen weisen Strukturelemente 13, 13' auf.

Fig. 3 zeigt einen erfindungsgemäßen Strömungskanal, der als Flachrohr 7 ausgebildet ist, welches in einer Draufsicht teilweise dargestellt ist. Das Flachrohr 7 weist eine Längsachse 7a, eine Breite b auf sowie zwei Reihen 8, 9 von V-förmig angeordneten Strukturelementen bzw. winglets 10, 11, welche jeweils sowohl in die Oberseite F1 als auch in die Unterseite F2 des Flachrohres 7 eingeprägt sind, und zwar mit dem selben Muster, sodass sich die jeweils oben liegende winglet-Reihe mit der darunter liegenden Reihe deckt. In einer Reihe sind jeweils acht winglets, gleichmäßig verteilt über die gesamte Breite b, angeordnet – es können jedoch auch sechs oder sieben winglets bei derselben Breite sein. Bei schmalen Rohren, Scheiben oder Platten kann die Zahl der winglets auch unterhalb von sechs liegen, bei



- 9 -

breiteren Rohren oder Scheiben/Platten auch oberhalb von acht. Die beiden Reihen 8, 9 weisen zueinander einen Abstand  $s$  auf, welcher von Mitte zu Mitte gemessen ist und etwa das 2-fache bis 6-fache der Länge der winglets beträgt. Zwischen den einzelnen Reihen befindet sich also jeweils ein glatter Bereich, in den zum Beispiel Abstützstrukturen eingeprägt sind. Die Reihen von winglets erstrecken sich über die gesamte Länge des Flachrohres 7, jeweils mit dem Abstand  $s$ , und zwar auf beiden Seiten des Flachrohres 7.

Fig. 4 zeigt eine untere Halbschale 7b des Flachrohres 7 in einer Ansicht in Richtung der Längsachse 7a des Flachrohres 7. Die Halbschale 7b, weist einen Boden F2 sowie zwei seitliche Schenkel 7c, 7d auf, wobei auf dem Boden bzw. der Unterseite F2 winglets 11' angeordnet, d. h. in die Rohrwand eingeprägt sind. Die obere Halbschale ist nicht dargestellt; sie ist spiegelbildlich ausgebildet und wird mit der unteren Halbschale 7b an den seitlichen Schenkeln 7c, 7d längsverschweißt. Die winglets 11' weisen eine Höhe  $h$  auf, mit welcher sie in den lichten Querschnittsbereich des Flachrohres 7 hineinragen. Das Rohr kann auch aus einem Blech hergestellt werden, das umgeformt und einseitig verschweißt wird.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel beträgt die Breite  $b$  des Flachrohres 40 mm oder 20 mm, die Gesamthöhe des Flachrohres etwa 4,5 mm und die Höhe  $h$  der winglets etwa 1,3 mm. Bei einer lichten Kanalhöhe von 4,0 mm verbleibt in Folge der von beiden Seiten in den Kanalquerschnitt hineinragenden winglets mit je 1,3 mm Höhe eine lichte Querschnittshöhe von 1,4 mm für eine Kernströmung. Der Abstand  $s$  der Reihen beträgt ca. 20 mm.

Das Flachrohr 7 wird vorzugsweise für an sich bekannte Abgaswärmeübertrager (nicht dargestellt) verwendet, d. h. es wird auf seiner Innenseite von Abgas einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeuges durchströmt und auf seiner Außenseite durch Kühlmittel eines Kühlmittelkreislaufes der Brenn-

- 10 -

5 kraftmaschine gekühlt. Dabei kann die Außenseite der Flachrohre 7 – wie durch den Stand der Technik bekannt – glatt sein und beispielsweise durch eingeprägte Noppen auf Abstand mit benachbarten Rohren gehalten werden. Möglich ist jedoch auch, auf der Außenseite der Flachrohre 7 Rippen zur Verbesserung des Wärmeüberganges auf der Kühlmittelseite vorzusehen.

10 Die Figuren 5a, 5b, 5c und 5d zeigen einzelne Strukturelemente, die für eine erfindungsgemäße Struktur auf den Strömungskanälen vorgesehen sind.

15 Fig. 5a zeigt ein längliches Strukturelement 13 mit einer Längsachse 13a, die mit einer Bezugslinie q einen Winkel  $\alpha$ , den Abströmwinkel bildet. Die Strömungsrichtung für alle Darstellungen 5a bis 5d ist jeweils dieselbe und durch einen Pfeil P dargestellt. Die Bezugslinie q verläuft senkrecht zur Strömungsrichtung P. Das Strukturelement 13 weist eine Länge L und eine Breite B auf. Letztere kann konstant oder variabel ein, d. h. in Richtung P zunehmend.

20 Fig. 5b zeigt ein längliches, jedoch abgewinkeltes Strukturelement 14 mit zwei gegeneinander geneigten Längsachsen 14a, 14b, die mit der Bezugslinie q jeweils einen Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  einschließen.  $\beta$  wird hier als Anströmwinkel und  $\alpha$  als Abströmwinkel bezeichnet. Die Strömung entsprechend dem Pfeil P wird somit in zwei Stufen umgelenkt, d. h. zunächst nur geringfügig und dann stärker. Dies ergibt einen geringeren Druckabfall – im Vergleich zu  
25 einem Strukturelement gemäß Fig. 5a bei gleichem Abströmwinkel  $\alpha$ . Die Länge des Strukturelementes 14 entlang den Längsachsen 14a, 14b ist mit L bezeichnet.

30 Fig. 5c zeigt ein bogenförmiges Strukturelement 15 mit einer gekrümmten Längsachse 15a, die einem Kreisbogen mit dem Radius R entspricht. Der stromaufwärts gelegene Winkel wird als Anströmwinkel  $\beta$  und der stromab-